



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STAVEBNÍ**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

**ÚSTAV VODNÍCH STAVEB**

INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

**NÁVRH HYDRAULICKÉHO OKRUHU  
LABORATORNÍHO ŽLABU**

DESIGN OF THE HYDRAULIC CIRCUIT OF THE LABORATORY FLUME

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

Aleš Staněk

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

Ing. MICHAL ŽOUŽELA, Ph.D.

**BRNO 2020**



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	B3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
<b>Pracoviště</b>	Ústav vodních staveb

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Aleš Staněk
<b>Název</b>	Návrh hydraulického okruhu laboratorního žlabu
<b>Vedoucí práce</b>	Ing. Michal Žoužela, Ph.D.
<b>Datum zadání</b>	30. 11. 2019
<b>Datum odevzdání</b>	24. 5. 2020

V Brně dne 30. 11. 2019

---

prof. Ing. Jan Šulc, CSc.  
Vedoucí ústavu

---

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.  
Děkan Fakulty stavební VUT

## PODKLADY A LITERATURA

- [1] Cichra, R., Šnelerová, M., Žoužela, M.: Inovace čerpací stanice Laboratoře vodohospodářského výzkumu, Prováděcí projekt strojné technologické části, LVV – FAST – VUT v Brně, 2008
- [2] Žoužela, M. Hamouz, V.: Strojní a elektrotechnologická část hydraulického okruhu laboratoře VOŠS a SŠS ve Vysokém Mýtě. Strojírensko technické centrum Chrudim. Prováděcí projekt, LVV – FAST – VUT v Brně, 2013
- [3] Žoužela, M., Hamouz, V., Kříž, L., Vacek, P.: Nová hydrotechnická laboratoř Stavební školy Vysoké Mýto. Vodní hospodářství, 1/2015, str. 10 – 13

## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Zkušební žlaby provozované bez připojení k okruhu laboratoře jsou vybaveny samostatným zásobníkem vody, rozvodnými potrubími a ve velkém průtokovém rozsahu provozovaným čerpadlem. Návrh těchto prvků pro konkrétní měrný žlab bude předmětem bakalářské práce.

## STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).
2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

---

Ing. Michal Žoužela, Ph.D.  
Vedoucí bakalářské práce

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce se zabývá strojně-technologickým návrhem hydraulického okruhu laboratoře, která je součástí projektové dokumentace. Hlavní částí práce je hydraulický okruh s akumulacími nádržemi a jejich vstrojení.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Čerpadlo, hydraulický okruh, měrný žlab, laboratoř, měrné objekty.

## **ABSTRACT**

This bachelor's thesis deals with machine-technological design of hydraulic circuit of laboratory, which is part of project documentation. The main part of the work is hydraulic circuit with storage tanks and their equipment.

## **KEYWORDS**

Pump, hydraulic circuit, measuring flume, laboratory, measurement objects.

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Aleš Staněk *Návrh hydraulického okruhu laboratorního žlabu*. Brno, 2020. 46 s., 56 s. příl.  
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních  
staveb. Vedoucí práce Ing. Michal Žoužela, Ph.D.

## PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Návrh hydraulického okruhu laboratorního žlabu* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 2. 1. 2020

---

Aleš Staněk  
autor práce

## PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Návrh hydraulického okruhu laboratorního žlabu* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 2. 1. 2020

---

Aleš Staněk  
autor práce


## PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval svému vedoucímu práce panu Ing. Michalu Žouželovi, Ph.D. za odborné rady, podnětné připomínky, trpělivost i za ponechání volnější ruky při navrhování hydraulického okruhu, což mi výrazně pomohlo při vypracování bakalářské práce.

## **SEZNAM PŘÍLOH**

- 1. Průvodní zpráva**
- 2. Technická zpráva**
- 3. Stávající stav**
  - 3.1. Půdorys, řezy místnosti**
- 4. Strojně technologický návrh hydraulického okruhu**
  - 4.1. Půdorys hydraulického okruhu**
  - 4.2. Řez A-A hydraulický okruh**
  - 4.3. Řez B-B vtok do hydraulického okruhu**
  - 4.4. Řez C-C výtok ze žlabu**
  - 4.5. Napojení akumulčních nádrží**
  - 4.6. Krajiní nádrž 33**
  - 4.7. Výtoková nádrž 34**
  - 4.8. Spojovací nádrž 35**
  - 4.9. Vtoková nádrž 36**
  - 4.10. Instalace obslužné galerie**
  - 4.11. Konstrukce pod podlahové rošty**
  - 4.12. Schodiště**
  - 4.13. Konstrukce samostatného roštu**
  - 4.14. Instalace rozvaděčové skříně**
- 5. Technologické schéma**
- 6. Hydrotechnické výpočty hydraulického okruhu**
  - 6.1. Hydrotechnické výpočty – textová část**
  - 6.2. Hydrotechnické výpočty – výpočtová část**
- 7. Seznam strojů a zařízení**



PŘEDMĚT:	<b>Bakalářská práce</b>		 VYSOKÉ UČENÍ V BRNĚ FAKULTA TECHNICKÉ STAVEBNÍ
VYPRACOVAL:	Aleš Staněk		
KONTROLOVAL:	Ing. Michal Žoužela, Ph.D.		
VEDOUcí ÚSTAVU:	prof. Ing. Jan Šulc, CSc.		
AKCE:  <b>NÁVRH HYDRAULICKÉHO OKRUHU LABORATORNÍHO ŽLABU</b>			FORMÁT: A4 DATUM: 03/2020
VÝKRES:	<b>PRŮVODNÍ ZPRÁVA</b>		Č. PŘÍLOHY: 1.

## OBSAH

1.	ÚVOD .....	3
2.	SOUČASNÝ STAV .....	3
3.	CÍLE PRÁCE .....	6
4.	POŽADAVKY BUDOUCÍHO UŽIVATELE NA HYDRAULICKÝ OKRUH.....	7
5.	HYDRAULICKÝ OKRUH .....	7
6.	STROJNÍ VYBAVENÍ.....	8
6.1.	MĚRNÝ ŽLAB.....	8
6.2.	ČERPADLO.....	8
6.3.	PRŮTOKOMĚR .....	9
6.4.	KLAPKOVÉ UZÁVĚRY .....	10
7.	ELEKTRO-TECHNOLOGICKÉ VYBAVENÍ.....	11
8.	ZÁVĚR .....	11
9.	SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ .....	12
10.	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK .....	12
11.	BIBLIOGRAFIE .....	13

## 1. ÚVOD

Ústav aplikované a krajinné ekologie na Agronomické fakultě Mendelovy univerzity v Brně projevil zájem o rozšíření vodohospodářské laboratoře o hydraulický okruh s měrným žlabem. Žlab, jenž bude sloužit především pro výuku, bude sloužit k demonstraci hydraulických jevů vyskytujících se v přírodě a na vodních dílech.

V rámci předložené dokumentace bude navržena a posouzena dimenze rozvodného potrubí navazujícího na odstředivé čerpadlo, maximální čerpané množství vzhledem ke kapacitě měrného žlabu a celková kapacita akumulčních nádrží hydraulického okruhu. Pro zpracování projektové dokumentace bude využita fotodokumentace a výkres místnosti dle skutečného stavu vypracovaný dle zaměření přímo v místě realizace.

## 2. SOUČASNÝ STAV

Místnost s laboratoří se nachází v 1. NP budovy (viz Příloha 4.1.) Provozně ekonomické fakulty Mendelovy univerzity v Brně. Místnost má přibližné rozměry 10,3 m na délku, 5,8 m na šířku a 4,2 m na výšku. Místnost je prosvětlena velkým oknem v zadní stěně o velikosti přibližně (5,5 x 1,8) m (viz *Obr. 1*). Vstupní dveře jsou umístěny uprostřed čelní stěny a mají rozměry (800 x 2100) mm (viz *Obr. 2*).



*Obrázek 1: Okno v zadní stěně místnosti*



*Obrázek 2: Vstupní dveře*

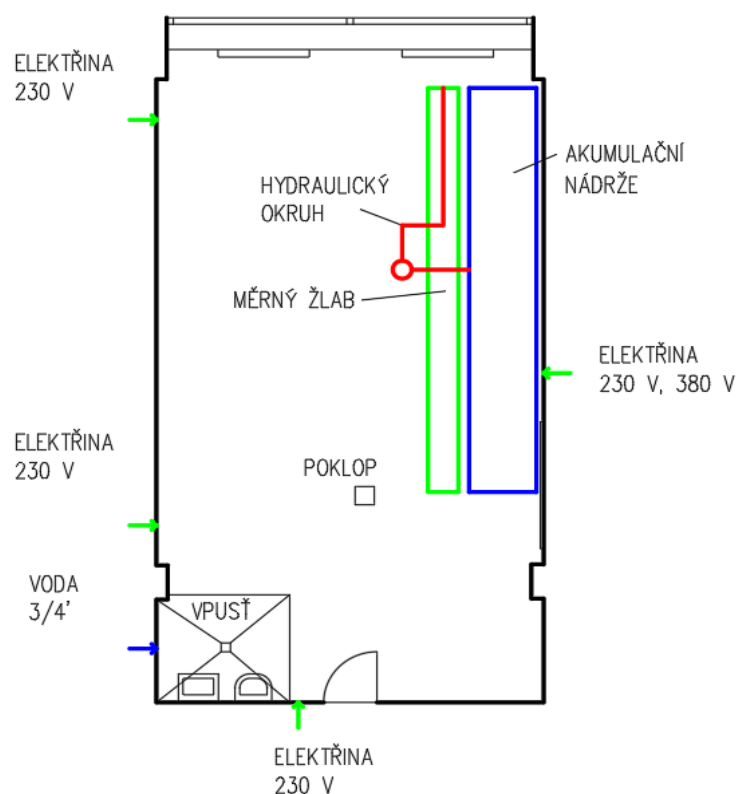
U stropu místnosti prochází vedení vzduchotechniky (viz *Obr. 3*). Nalevo ode dveří při pohledu z chodby se nachází 2 umyvadla a odtokový otvor (vpust') v podlaze. Pro napouštění nádrží hydraulického okruhu bude sloužit vývod vodovodního potrubí s  $\frac{3}{4}$ " kohoutem, pro vypuštění pak již zmíněný odtok pod umyvadly s průměrem 1". Přibližně uprostřed místnosti se nachází poklop zakrývající přístup k elektřině a optickým kabelům (viz *Obr. 4*). Po místnosti jsou různě rozmístěny zásuvky s napětím 230 V, na straně, kde je uvažováno s umístěním měrného žlabu, je umístěn přívod elektřiny s napětím 400 V, 5/16 A.



*Obrázek 3: Vzduchotechnika*



*Obrázek 4: Poklop v podlaze*



Obrázek 5: Schéma místnosti

### 3. CÍLE PRÁCE

Cílem bakalářské práce je vytvoření projektové dokumentace hydraulického okruhu měrného žlabu v laboratoři. V uvažovaném prostoru bude umístěn hydraulický měrný žlab s nadzemními akumulacími nádržemi z polypropylenu. Z nádrží bude voda natékat na odstředivé čerpadlo a následně bude potrubím dopravováno do měrného žlabu. V trubní rozvodné síti je taktéž navrženo odbočení do tzv. rezervy, která umožní připojení dalších, v prostoru volně stojících, modelů. Na akumulacích nádržích budou umístěny podlahové rošty (galerie) pro přístup k měrnému žlabu.

Seznam příloh bakalářské práce tvoří 6 samostatných dokumentů:

- průvodní zpráva;
- technická zpráva;
- výkresy stávajícího stavu, kde bude hydraulický okruh umístěn;
- strojně technologické výkresy hydraulického okruhu;
- hydrotechnické výpočty;
- seznam strojů a zařízení.

Výkresová dokumentace měrného žlabu není součástí předložené bakalářské práce.

## 4. POŽADAVKY BUDOUcíHO UŽIVATELE NA HYDRAULICKÝ OKRUH

Po konzultacích se zástupci Mendelovy univerzity v Brně byly na nově budovaný hydraulický okruh stanoveny následující požadavky:

- hydraulický okruh bude umožňovat napájení měrného žlabu vodou;
- hydraulický okruh bude vybaven nesklopným žlabem s účinnou délkou 6,45 m a šířkou 0,36 m;
- hydraulický okruh bude umožňovat napájení vodou v laboratoři různě rozmístěných modelů odbočkou na okruhu označovanou jako rezerva;
- čerpadlo hydraulického okruhu bude řízeno měničem frekvence, který bude instalován v elektrickém rozvaděči;
- čerpadlo bude možné vyjmout a opravovat bez nutnosti vypuštění nádrží;
- kapacita měrného žlabu musí být minimálně 35 l/s;
- průtoky hydraulickým okruhem musí být měřeny s maximální přesností s rozsahem hodnot od 1,6 l/s až po ty maximální;
- hydraulický okruh musí být provozovatelný celoročně;
- součástí dveří rozvaděče bude dotykový displej, který bude sloužit k ovládání a vizualizaci všech měřených neelektrických veličin;
- součástí měřených neelektrických veličin bude sběr dostatečného množství dat o průtocích, teplotách a hloubkách v různých místech měrného žlabu, akumulčních nádrží a prostorách laboratoře.

## 5. HYDRAULICKÝ OKRUH

Hydraulický okruh s měrným žlabem a nádržemi se bude nacházet na pravé straně místnosti blíže k oknu tak, jak je uvedeno na *obr. 5*. Podél zdi budou umístěny 4 polypropylenové nádrže, které budou vzájemně propojeny. V pořadí druhé nádrži bude nátok do hydraulického okruhu a v nádrži čtvrté budou umístěny otvory na zpětný vtok vody z měrného žlabu i z rezervy. Na nádržích je navržena galerie k zajištění přístupu studentů ke žlabu z obou stran. Nádrže a jednotlivé komponenty hydraulického okruhu se budou do místnosti dopravovat dveřmi a oknem.

Hydraulický okruh bude tvořen nerezovým ocelovým potrubím DN 100 [1] a odstředivým čerpadlem [2] umístěným vedle měrného žlabu. Na potrubí je umístěno

odbočení do rezervy a armatury sloužící k obsluze okruhu. Jedná se o klapkové uzavěry, průtokoměr a pryžové kompenzátory, které zabráňují šíření vibrací. Uzavěry budou ovládány elektropohony a budou řízeny automaticky. Průtok na žlab nebo na rezervu bude řízen měničem frekvence. Rezerva slouží pro napájení modelů umístěných mimo měrný žlab v prostoru laboratoře. Pro přítok vody zpět do nádrží je na poslední nádrži umístěno nožové šoupě.

Měrný žlab je obdélníkového průřezu s kapacitním průtokem  $Q_{kap}$  přibližně 40 l/s. Z důvodu úspory místa v místnosti je navržen co nejbližší k nádržím a potrubí je vedeno v co největší míře pod ním.

## 6. STROJNÍ VYBAVENÍ

### 6.1. MĚRNÝ ŽLAB

Měrný žlab je na hydraulický okruh napojen difuzorem rozšiřující potrubí z DN 100 na DN 200 [1] z důvodu snížení přítokové rychlosti. Žlab je rozdělen na uklidňující, měrnou a odpadní část. V uklidňující části dochází k homogenizaci proudu a ke zklidnění hladiny, aby nedocházelo k ovlivnění měření. V měrné části je prostor na umístění různých modelů a v části odpadní jsou umístěny drážky pro případné zahrazení odtoku. Výška dna žlabu nad podlahou je 1,2 m, délka je 6,45 m. Žlab je navržen jako pevný a nesklopný. Stěny žlabu jsou prosklené, aby bylo možné pozorovat hydraulické jevy na modelech.

### 6.2. ČERPADLO

V okruhu je navrženo odstředivé čerpadlo FLYGT (viz *Obr. 5*) [2]. Čerpadlo je s trubicím vedením spojeno přírubovými spoji [1], k zabránění šíření vibrací jsou mezi potrubí a čerpadlo umístěny gumové kompenzátory [3] a čerpadlo samotné je uloženo na tlumící pryžové podložce [4]. Maximální čerpané množství  $Q$  do žlabu při navržené výtlačné výšce  $H_{max}$  je přibližně 37 l/s. S hodnotou průtoku se bude manipulovat pomocí měniče frekvence.





*Obrázek 6: Odstředivé čerpadlo FLYGT [2]*

### **6.3.PRŮTOKOMĚŘ**

Okamžitý průtok systémem bude měřen pomocí magneticko – indukčního průtokoměru DN 100 [5] v kompaktní verzi s vyhodnocovací jednotkou.



*Obrázek 7: Magneticko – indukční průtokoměr DN 100 [5]*

## 6.4. KLAPKOVÉ UZÁVĚRY

Pro ovládání průtoku a možnosti revize, či opravy jsou na hydraulickém okruhu rozmístěny klapkové uzávěry CEREX [6] (viz *Obr. 7*). Každý uzávěr je ovládán elektropohonem REGADA SP 1 respektive SP 2 [7] (viz *Obr. 8*). Elektropohony budou ovládány automaticky z rozváděče hydraulického okruhu nebo ručně za pomoci deblokačních přepínačů. Uzávěry je taktéž možné ovládat ručně pomocí ovládacího kola.



Obrázek 8: Klapkový uzávěr CEREX [6]



Obrázek 9: Elektropohon REGADA SP 1 [7]

## 7. ELEKTRO-TECHNOLOGICKÉ VYBAVENÍ

Na hydraulickém okruhu budou rozmístěna různá elektro-technologická zařízení pro jeho ovládání a měření příslušných veličin. Všechna zařízení umístěná na okruhu budou propojena s rozváděčem. Pro široký rozsah průtoků bude okruh vybaven frekvenčním měničem, který bude sloužit k měnění otáček čerpadla a tím i čerpaného množství vody v celém rozsahu kapacity měrného žlabu.

Ovládání hydraulického okruhu bude probíhat z 10“ dotykového displeje na rozvaděčové skříni umístěné na měrném žlabu. Displej bude propojen s řídicím systémem a bude sloužit i pro zobrazení měřených veličin. Některé z měřených veličin budou zobrazovány i na stěně umístěném digitálním displeji.

Pro provoz bude okruh vybaven následujícími snímači a zařízeními:

- čerpadlo;
- klapkové uzávěry;
- indukční průtokoměr;
- plovákový snímač hladiny na nátok do žlabu;
- ultrazvukové snímače hladiny na začátku a konci žlabu;
- ultrazvukové snímače hladiny pro libovolné umístění v laboratoři;
- tenzometrický ponorný snímač hloubky vody v akumulacích nádrží;
- snímač teploty vzduchu v laboratoři a teploty vody v akumulacích nádrží.

## 8. ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo vytvořit projektovou dokumentaci hydraulického okruhu pro Agronomickou fakultu Mendelovy univerzity v Brně. Hydraulický okruh s měrným žlabem bude sloužit ke zkvalitnění výuky a k demonstraci hydraulických jevů v předmětech, jako jsou například ochrana vodních zdrojů nebo vodní hospodářství.

V rámci projektové dokumentace bylo navrženo a posouzeno z hlediska dimenze rozvodné potrubí s přívodem na žlab i na rezervu. Čerpadlo bylo navrženo na maximální průtočné množství při navržené výtlačné výšce a skladbě potrubí. Hydraulický okruh bude ovládán z dotykového displeje na rozvaděčové skříni.

## 9. SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Okno v zadní stěně místnosti .....	3
Obrázek 2: Vstupní dveře .....	4
Obrázek 3: Vzduchotechnika.....	5
Obrázek 4: Poklop v podlaze .....	5
Obrázek 5: Schéma místnosti .....	6
Obrázek 6: Odstředivé čerpadlo FLYGT [2] .....	9
Obrázek 7: Magneticko – indukční průtokoměr DN 100 [5].....	9
Obrázek 8: Klapkový uzavěr CEREX [6].....	10
Obrázek 9: Elektropohon REGADA SP 1 [7] .....	10

## 10. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Průměr potrubí	DN	[m]
Průtok	$Q$	[m <sup>3</sup> /s]
Jmenovitý tlak	PN	[MPa]
Kapacitní průtok	$Q_{kap}$	[m <sup>3</sup> /s]
Maximální výtlačná výška	$H_{max}$	[m]
Obrázek číslo 5	Obr. 5	[-]
Nadzemní podlaží	NP	[-]

## 11. BIBLIOGRAFIE

1. Nerezový program. *TRIVAL, s.r.o.* [Online] [http://www.trival.cz/nerezovy\\_program/nerez\\_pdf.pdf](http://www.trival.cz/nerezovy_program/nerez_pdf.pdf).
2. NT 3102 LT 3~ Adaptive 423. *ver\_1\_zou\_29\_4\_2019\_2,4kW\_čerpadlo*. Rye Brook : Xylem Inc., 2019.
3. kompenzátory. *IVAR CS spol. s r. o.* [Online] <https://www.ivarcs.cz/katalog/vytapeni-ivartrio/kompenzatory-c936/>.
4. FS 700. *GUMEX, spol. s r.o.* [Online] <https://www.gumex.cz/h/tlumici-elasticke-desky-elaston-eltec-fs-700-00554>.
5. MQI 99-C. *ELA, spol. s r. o.* [Online] 2017. <http://www.elabrno.cz/wp-content/uploads/2017/10/mqi-99-c.jpg>.
6. CEREX 300. *VAG s.r.o.* [Online] 28. 05 2015. <https://www.vag-group.com/cz-cs/vyroby/detaily-vyroby/cerex-300-w-uzaviraci-klapka-3>.
7. Elektrický servopohon jednootáčkový SP 1. *REGADA s.r.o.* [Online] 07 2015. [http://www.regada.sk/public/media/file/ElServo/Standard/SP\\_1\\_sk-en.pdf](http://www.regada.sk/public/media/file/ElServo/Standard/SP_1_sk-en.pdf).
8. Miller, Donald S. *Internal Flow Systems*. místo neznámé : British Hydromechanics Research Association, 1978. 0 900983 78 7.
9. Jobánek, Stanislav. *Určení bezpečné hloubky ponoru vtoku MVE Vydra 2*. Brno : autor neznámý, 2012.
10. Hamouz, Vladimír. *Strojně-technologický návrh hydraulického okruhu laboratoře Vyšší odborné školy stavební ve Vysokém Mýtě*. Brno, 2013.
11. Boháč, Daniel. *Prístavba a stavbené úpravy hydraulického laboratória KKI FZKI SPU v Nitre*. Brno, 2019.
12. Nožové šoupátko ZETA. *MAPOL s.r.o.* [Online] [http://www.mapol.org/upload/files/ZETA\\_HAND\\_CZ.pdf](http://www.mapol.org/upload/files/ZETA_HAND_CZ.pdf).
13. Podlahové rošty. *PERFO LINEA a. s.* [Online] <https://shop.perfolinea.cz/eshop-kategorie-ocelove-rosty.html>.
14. J. Jandora a J. Šulc. *Hydraulika. Modul 01*. Brno : CERM Brno, 2006.